

微冷卻器之整合研究(1/3)—子計劃二：微冷卻器之製程技術研究

The Research on the Processing Technology of Micro Coolers

計劃編號：NSC-89-2218-E-032-002

(第一年)執行期間：88年08月01日至89年07月31日

主持人：楊龍杰 執行機構：淡江大學機械工程學系

E-mail: Ljyang@mail.tku.edu.tw

(1) 中文摘要

本整合計劃之第二子計劃部分提議一種新的微型感測器研究載台。該平台可以將應用於生醫或高速冷卻的微管路，與量測該微流體系統壓力、溫度變化之微型感測器，整合製作在同一基材之上。在該玻璃基板載台上，已經事先製作壓阻式矽質微壓力計；白金薄膜電阻的後製程，則用以增加本系統量測溫度變化的功能。最後再以陽極靜電鍵合(anodic bonding)技術，將矽質微流道與玻璃基板，接合為所需之測試研究成品，供進一步現地量測應用。

關鍵字：半-矽覆絕緣結構、壓力計、微小實驗室晶片、白金薄膜電阻。

Abstract

This sub-project proposed a new framework of micro sensor technology to implement the lab-on-a-chip systems used in micro fluid dynamics and biomedical applications. The semi-SOI pressure sensors fabricated on glass substrates provide a platform for silicon micro channels as well as silicon micro heat-pipes to be operated and monitored in an *in situ* way. Platinum thin-film resistor evaporated on glass substrates (#7740) augment the capability of temperature measurement beyond the pressure measurement mentioned above. Package issue of second anodic bonding and the thermal

noise due to nearby sensor array are of primary concern at the present stage.

Keywords: semi-SOI, pressure sensor, lab-on-a-chip, platinum thin-film resistor

(2) 介紹

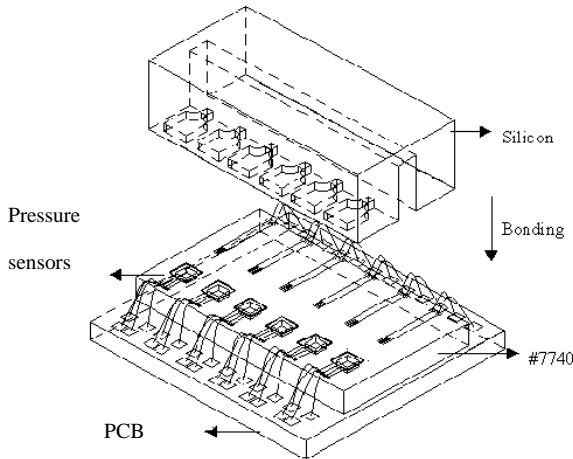
單晶矽、玻璃、或塑膠材質之微流道，已經普遍地應用於生物醫學或高速冷卻之課題上。前者作為諸如毛細電泳式(capillary electrophoresis)質流分離之管路[1]，後者則可應用於微熱沉(micro heat sink)[2]或微熱管(micro heat pipe or spreader)[3]之先導研究，二者之管道截面幾何尺寸約略在數十到數百微米之間。

雖然上述之應用研究早已多方展開，甚至有相關的商品問世，但是相關環繞在雷諾數 10 到 2300 之間，所謂微小尺寸流力熱傳之基本問題，仍有待釐清[4]。正本清源之道，是將微型感測器，整合入微流道之中，以便直接測知其中之壓力與溫度變化，而明微流道之小尺寸效應。[5]

本子計劃揭示一種新型玻璃載台，可將微感測器與微流道整合一體，一面進行微流道之應用實驗，一面現地監控溫度與壓力變化，並提供未來微冷卻器整合計劃(包括微熱沉與微熱管)之整體實地監測之需求。由於允許大範圍的微流道尺寸變動，比起先前類似文獻，更具實用與改進之效。

(3) 實驗系統架構說明

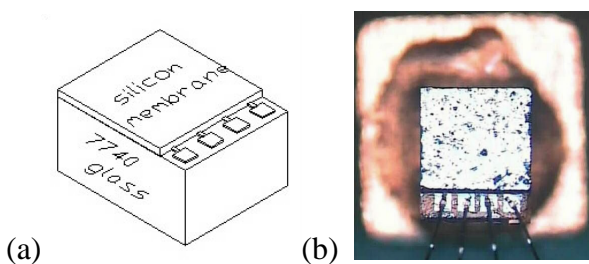
本計劃提議之新型微感測器研究載台，如圖一所示。



圖一、新型「微感測器—微流道」之整合測試載台。[6]

圖一上方是具有微溝槽結構之矽晶，其上同時蝕刻出現地監控用微壓力計之通往微流道的空穴與引道。微溝槽或微流道之橫斷面，採體型加工製作，可為(110)矽晶圓上之矩形橫斷面流道或(100)矽晶圓上之三角形橫斷面流道，溝槽寬度或水利直徑(hydraulic diameter)可自數十微米變動到數百微米。

至於新型整合載台，係指圖一之下方 #7740 玻璃基板部分。其上已經以所謂「semi-SOI」的方式，事先在玻璃基板上製妥壓阻式微型壓力計，而具有量測壓力之能力。該壓力計之構型如圖二(a)(b)所示。[7] [8]



圖二、semi-SOI 微型壓力計：(a)立體示意。(b)原型壓力計(尺寸： $1.0*0.8*0.5\text{mm}^3$)完成晶粒切割(dicing) 打線(wire bonding)後之外型

Semi-SOI 壓力計晶片之製作，本為了大幅縮小體型加工之壓力計晶粒面積，或提高每片四吋晶圓之產量(自一般 1000 顆提高到 4000 顆以上)，故圖二所示為單獨晶粒之外觀。若實地應用到圖一之整合載台，則無須將個別壓力計切割分開，而仍留在玻璃基板之上。至於基板上非指定用來作為壓力感測薄膜部位之矽膜，則全部去除、留下玻璃材質，以便未來整合封裝時，與另一片具有微溝槽結構之矽晶進行靜電鍵合。

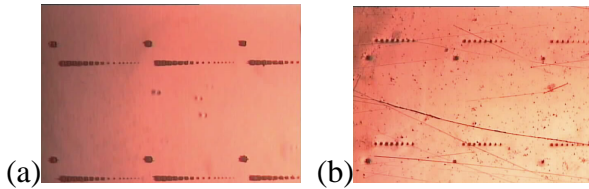
玻璃基板上另需蒸鍍白金薄膜電阻，以及鋁質訊號導線，以賦予本整合載台量測溫度之功能。

(4) 結果與討論

本整合載台概念雖不複雜，仍牽涉相當多之微細加工製程課題。第一年製程研究之進度描述如下。

a. 微型壓力計之磊晶矽質薄膜 n 停止蝕刻：

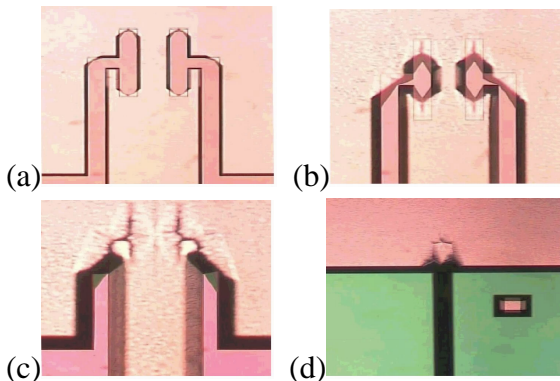
以玻璃基板製作 semi-SOI 矽質微型壓力計的最後製程，亦即如何從一次靜電鍵合好的「玻璃基板—500 微米厚的矽晶圓」，加工成「玻璃基板—15 微米厚的矽質薄膜」，在文獻[7] [8]之中有詳細的描述。本研究則試以「矽晶等向性腐蝕液」HNA (配方 $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{CH}_3\text{COOH}=1:3:8$)，配合雜質濃度在 $10\text{E}17\text{cm}^{-3}$ 以下之 n 型磊晶層(成長於雜質濃度在 $10\text{E}18\text{cm}^{-3}$ 以上之 p 型矽晶圓)，希望蝕刻速度能減低為原來之 10%或更少，達成近似停止蝕刻的效果，而得到厚度均勻之矽晶壓力薄膜。圖三為「矽晶--玻璃」複合晶片之試驗初步結果。腐蝕的前 30 分鐘，矽晶之蝕刻率約為每分鐘 1 微米；而 30 至 50 分鐘之間，平均蝕刻率則降至每分鐘 0.3 微米，顯示有停止蝕刻的效果。最後矽晶薄膜之厚度由 50 微米減薄至 14 微米。



圖三 以矽晶等向性腐蝕液 HNA 加工壓力計薄膜，並停止於 n 型矽質磊晶層之情形：(a) 自玻璃面觀察之景象，黑點為 V 槽深度尺 [9]。(b) 自受腐蝕矽晶面觀察之景象，平整度與均勻性良好，矽質薄膜厚度依據 V 槽深度尺判斷為 14 微米。

b. 壓力計引道進出口之凸角補償：

由於現地監測用壓力計必須與微流道相通，卻又不能影響原來之微流道流況過劇，所以引道進出口的寬度不能過大(約為微流道寬之 10%，此地定為 15 微米；也遠大於流體之平均自由路徑。)另外，若放任進出口的凸角被 KOH 腐蝕成具導角的外觀，也會嚴重影響下游流況，故需加上凸角補償(corner compensation)之技巧，以力求引道凸角 90 度之完整。補償圖形如圖四所示，蝕刻波前以 (411) 面為基準[10]，蝕刻補償之成果相片如附。

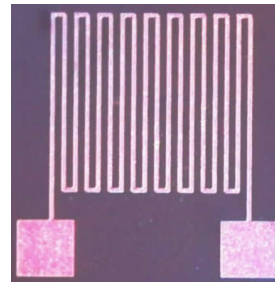


圖四、樹枝狀的凸角補償初步結果，KOH 濃度 40%，溫度 80°C：(a)10min。(b)30min。(c)60min。(d)135min。

c. 白金薄膜電阻之製備：

當作溫度感測器之白金薄膜電阻，係以電子槍蒸鍍法(E-gun evaporator)鍍著，再以王

水($\text{HCl} : \text{HNO}_3 = 1 : 3$)蝕刻出電阻外型，如圖五所示。



圖五、白金薄膜電阻之外觀，大小 350 微米見方，電阻值約 1k 歐姆，量測溫度的靈敏度經校正約為 $2.5 \Omega/^\circ\text{C}$ 。

d. 玻璃與矽晶之二次靜電鍵合：

由於玻璃與矽晶進行靜電鍵合時，玻璃中的鈉離子會部分消耗，所以不能重複進行不限次數的鍵合。幸好本研究只需兩次靜電鍵合，經過測試後(將已經鍵合之「玻璃—矽晶」複合片放入 KOH 中蝕去矽晶，再與另一片矽晶進行接合)，尚未發現有無法鍵合的困難；唯鍵合強度尚未測定，無法得知是否有強度退化的現象。

另外須注意：玻璃基板在經過多道微細加工的製程後，表面粗糙度(Ra)是否無法保持在 1.0 微米以下，而妨礙靜電鍵合之遂行。

(5) 結論

目前整合晶片載台之製作仍在進行之中，由於所有設計於載台上的微型感測器良率(yield)，包括壓力與溫度感測器，都必須達到 100%，且每個微型感測器都要在事先經過壓力或溫度之校正，證明其量測之再現性後，本 lab-on-a-chip 整合系統方能正式應用於微流道之現地量測。

另一方面，本整合系統本質上存在著微型感測器間訊號干擾的問題(本系統之感測器間距遠小於傳統大尺寸感測器，干擾問題尤為嚴重)，尤其白金電阻在運作時會對微流道進行加熱，一則破壞原本微流道等溫

(isothermal)或等熱通量(constant heat flux)之熱傳邊界條件；二來當此熱雜訊(thermal noise)傳至鄰近壓阻式壓力計時，因壓電阻本身之半導體溫度效應極為敏感，壓力計輸出訊號便需要補償或扣除溫度效應的部分，方不致造成誤讀。上述訊號處理的問題，再需要未來進行現地量測時，進一步作精確的考量。

(6)感謝詞

感謝倍強真空公司協助白金薄膜之蒸鍍製程，國家毫微米實驗室、交大半導體中心提供之半導體貴重儀器使用。並感謝台灣矽微電子公司在新型微型壓力計之技術合作，補助本計劃申請中華民國專利，獲得審定通過。[8]

(7)參考文獻

- [1] A. Manz, et al., "Planar Chips Technology for Miniaturization and Integration of Separation Techniques into Monitoring Systems", *J. Chromatogr.*, v. 593, pp. 253-258 (1992).
- [2] C.R. Friedrich and S.D. Kang, "Micro Heat Exchangers Fabricated by Diamond Machining", *J. of Am. Soc. For Precision Engineering*, v.16, n.1, pp. 56-59 (1994).
- [3] K. Mallik, et al., "Fabrication of Vapor-Deposited Micro Heat Pipe Arrays as an Integral Part of Semiconductor Devices", *J. of Micro-electro- mechanical Systems*, v. 4, n. 3, pp. 119-131 (1995)
- [4] X .F. Peng and G.P. Peterson, "The Effect of Thermofluid and Geometrical Parameters on Convection of Liquid through Rectangular Microchannels", *Int. J. Heat Mass Transfer*, v.38, n.4, pp. 755-758 (1995).
- [5] J.Q. Liu, Y.C. Tai, K.C. Pong and C.M. Ho, "Micro-Machined channel / Pressure Sensor Systems for Micro Flow Studies", *Transducer'93*, pp. 995-997 (1993)
- [6] L.J. Yang and S.W. Kang, "A Micro Fluidic System of Micro Channels with On-site Sensors by Bulk-Micro-machining", *SPIE Symposium on Micro-machining & Micro-fabrication*, 3877-37 (1999)
- [7] L.J. Yang and Y.M. Chang, "A New Strategy to Reduce the Chip Size of the Bulk-Machined Micro-Sensors", *Proc. SENSOR 99 (Nuremberg, Germany)*, pp. 394-402 (1999)
- [8] "由矽晶體加工法製作之小型微壓力計及其製作方法", 發明人：楊龍杰、張益敏，中華民國專利公報，編號 390962，中華民國 89(2000)年 5 月 21 日。
- [9] P.Z. Chang and L.J. Yang, "A Method Using V-Grooves to Monitor the Thickness of Silicon Membrane with um Resolution", *J. Micro-mech. Micro-eng.*, v.8, n.3, pp. 182-187 (1998)
- [10] M. Bao, et al., "Etching Front Control of <110> Strips for Corner Compensation", *Sensors and Actuators A*, v. 37-38, pp. 727-732 (1993)